УДК 621.313

ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ МАШИН МЕТОДОМ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ

Е.В. Бейерлейн, О.Л. Рапопорт, А.Б. Цукублин

Томский политехнический университет
E-mail: eugen55@list.ru

Представлена схема взаимной нагрузки для испытания системы асинхронный двигатель – асинхронный генератор. Данная схема позволяет экономить электроэнергию в процессе испытаний и может быть использована для послеремонтных испытаний асинхронных машин в условиях локомотивного депо.

Послеремонтные испытания тяговых электродвигателей (ТЭД) в соответствии с ГОСТ проводятся не только в режиме холостого хода и короткого замыкания, но и в часовом режиме при полной нагрузке. Учитывая, что мощность ТЭД современных электровозов близка или превышает 1000 кВт, актуальным является поиск схем и методов, позволяющих сокращать расход электроэнергии при испытаниях. Особенно остро эта проблема проявляется при послеремонтных испытаниях асинхронных тяговых электродвигателей (АТЭД) современных электровозов переменного тока в условиях ремонтных цехов локомотивных депо.

Поскольку питание АТЭД на магистральных электровозах осуществляется в режиме частотного регулирования от статических преобразователей [1], испытания целесообразно проводить в аналогичных условиях. В связи с этим, предлагается схема испытания АТЭД в часовом режиме, использующая два одинаковых двигателя, рис. 1. В данной схеме электрические машины соединены электрически и механически, так, что одна из них, работая в генераторном режиме, отдает всю выработанную энергию второй, которая, работая двигателем, расходует всю развиваемую механическую энергию на вращение первой. Компенсация потерь обеих машин осуществляется за счет энергии питающей сети.

Комбинацией контакторов К1–К4 (рис. 1) можно обеспечить работу каждого из АТЭД от преобразователя частоты (ПЧ) в качестве двигателя и в режиме генератора с возбуждением от сети. Частота и напряжение сети в этом случае должны соответствовать номинальным испытуемых АТЭД.

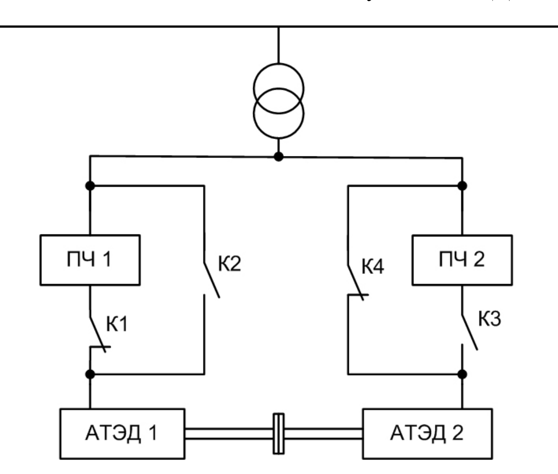


Рис. 1. *Схема испытания АТЭД*

Для того, чтобы асинхронную машину перевести в генераторный режим, ей необходимо задать частоту вращения выше синхронной, определяемой полюсностью и частотой питания машины. Поэтому испытуемый двигатель должен питаться частотой выше сетевой от ПЧ.

Одним из важнейших вопросов в рассматриваемой системе является выбор величин скольжений двигателя и генератора, которые обеспечивают идентичность их механических характеристик, что необходимо для испытаний обеих машин при номинальном моменте нагрузки. Известно [2], что одна и та же асинхронная машина при идентичном питании имеет разные механические характеристики в двигательном и генераторном режимах (рис. 2). Поэтому обеспечение равных моментов при одной и той же частоте вращения одинаковых двигателя и генератора требует не традиционного соотношения между величинами напряжения и частотой питания двигателя. Это соотношение можно определить, если известны напряжение и частота сети (U_C,f_C), на которую будет работать генератор при номинальных скольжениях машин (s_H).

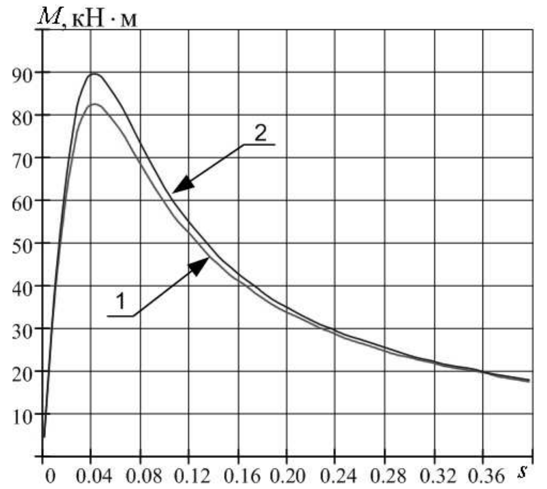


Рис. 2. *Механические характеристики при $f_Д$=f_c: 1) асинхронный двигатель, 2) асинхронный генератор*

В этом случае, частота питания двигателя определяется как

$$f_Д = f_C \frac{1+s_H}{1-s_H}, \qquad (1)$$

где $f_Д$ – частота питания двигателя, а s_H – величина скольжения двигателя и генератора.

При этом, закон управления двигателем, обеспечивающий идентичности механических характеристик работающей пары, может быть найден из выражения (2).

$$\frac{U_Д}{f_Д} = \frac{U_C}{f_C} \times$$

$$\times \left[\frac{1+s_H}{1-s_H} \cdot \frac{\left(R_1 + \frac{R_2}{s_H}\right)^2 + (X_1+X_2)^2 \cdot \left(\frac{1+s_H}{1-s_H}\right)^2}{\left(R_1 - \frac{R_2}{s_H}\right)^2 + (X_1+X_2)^2} \right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (2)$$

где R_1, X_1 – параметры первичной цепи машины, активное и индуктивное сопротивления статорной обмотки; R_2, X_2 – параметры вторичной цепи, активное и индуктивное сопротивления роторной обмотки, приведенные к первичной.

На рис. 3 показаны механические характеристики испытуемых машин для этого случая.

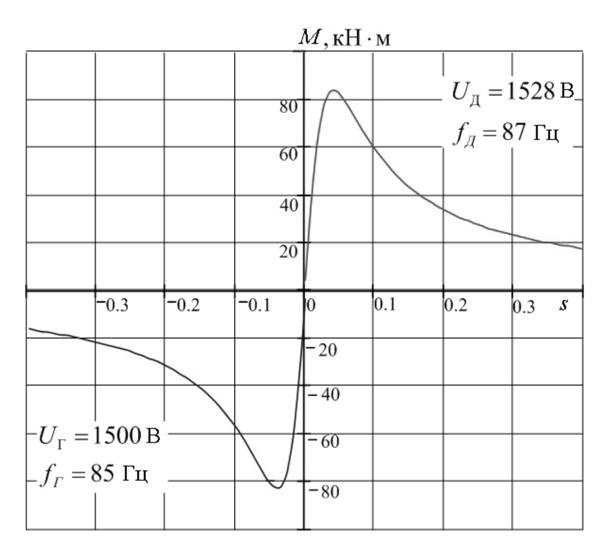


Рис. 3. *Механическая характеристика асинхронный двигатель – асинхронный генератор*

Для более детального анализа работы схемы взаимной нагрузки в программной среде MATLAB (библиотека блоков SIMULINK) [3, 4] была выполнена модель системы асинхронный двигатель – асинхронный генератор. Модель (рис. 4) состоит из: источника переменного трехфазного напряжения, в окне настроек которого устанавливают параметры амплитуды и частоты; преобразователя частоты со звеном постоянного тока, собранного на управляемом выпрямителе и инверторе; асинхронных машин, в окне настройки которых задан тип ротора, номинальные параметры (мощность, напряжение, частота, число пар полюсов) и параметры схемы замещения (активные и индуктивные сопротивления), а также характеристики механической части (моменты инерции и трения). Нагрузка машин моделируется блоком задания момента, а измерения напряжений, токов, моментов и скоростей осуществляется блоком измерения переменных состояний и измерительными приборами.

Параметры схемы замещения асинхронных тяговых электродвигателей рассчитаны на основании номинальных данных. В качестве примера рассмотрены электродвигатели со следующими данными: P_H=1120 кВт; U_H=1300 В; I_1=620 А; n_H=1395 об/мин; f_H=85 Гц; η_H=0,94; cosφ_H=0,85 [5]. Рассчитанные параметры схемы замещения представлены в табл. 1.

Таблица 1. *Параметры схемы замещения АТЭД*

R_1, Ом	L_1, мГн	R_2, Ом	L_2, мГн	L_M, мГн
0,0124	0,246	0,012	0,243	7,327

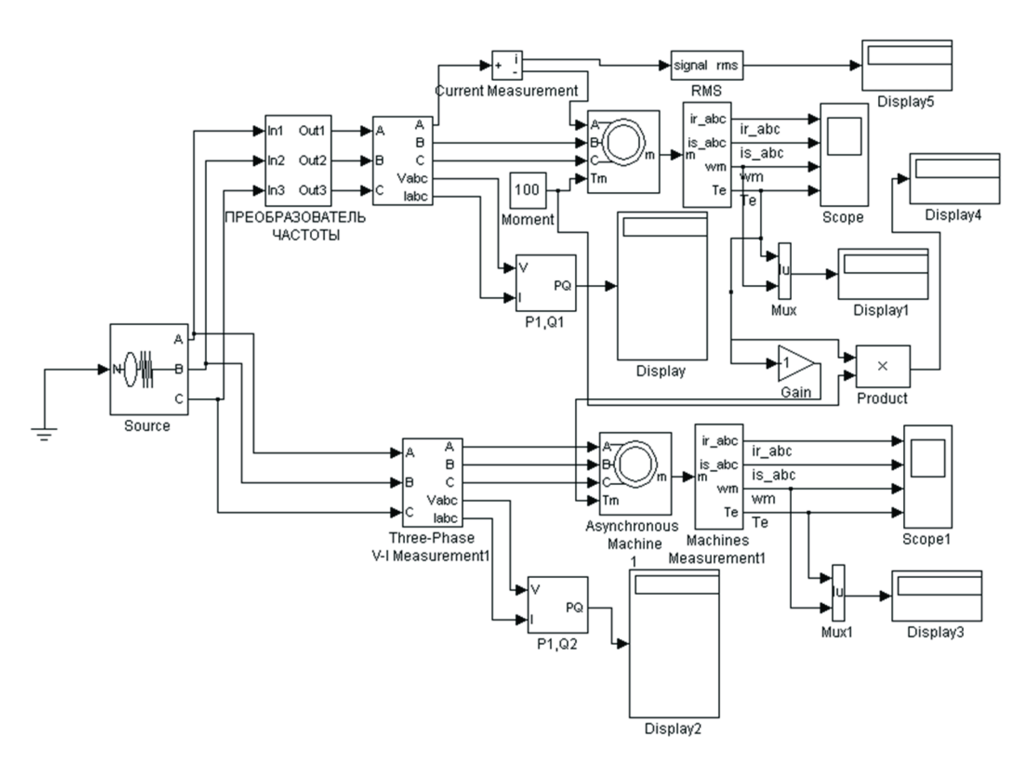


__Рис. 4.__ Модель схемы взаимной нагрузки асинхронный двигатель – асинхронный генератор

Здесь L_1 и L_2 – индуктивности статорной и приведенной роторной обмоток, L_M – взаимная индуктивность между статором и ротором.

По выражениям (1) и (2) были найдены в качестве исходных для модели значения напряжение и частоты питания приводного двигателя, которые составили, соответственно, $U_Д$=1528 В, $f_Д$=87,5 Гц.

На рис. 5 показан переходный процесс запуска тяговых машин и установившийся режим их взаимной работы, полученные на модели: в установившемся режиме двигатель и генератор работают с одинаковыми частотами вращения и моментами.

Данная модель для испытания асинхронных машин позволила оценить энергетические свойства системы (табл. 2).

__Таблица 2.__ Результаты математического моделирования

	Потребляемая мощность, кВт			Примечание
	Двигатель	Генератор	Сеть	
Активная	372,7	-324,9	47,8	$\omega_{уст}$=135 рад/с $M_{ГЕН}$=−8001,54Н·м $M_{ДВ}$=7986,80 Н·м $s_Д$=$s_Г$=0,012 о.е.
Реактивная	148,0	155,5	303,5	

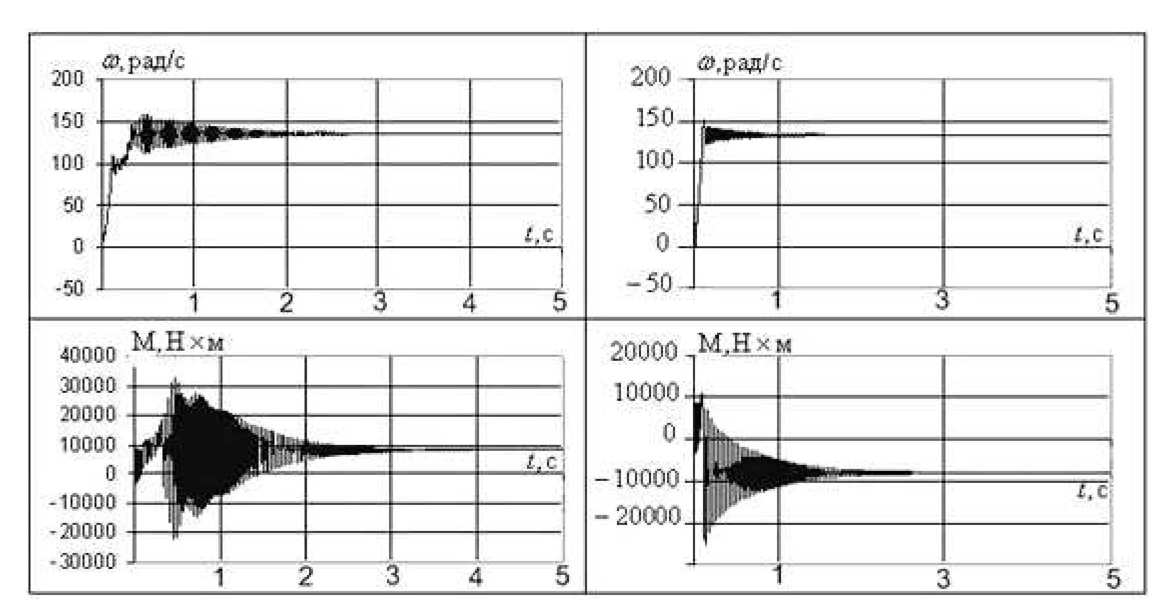


__Рис. 5.__ Зависимости скоростей и моментов асинхронных тяговых машин (слева характеристики двигателя, справа генератора)

Из анализа полученных результатов видно, что КПД по активной мощности в системе асинхронный двигатель – асинхронный генератор равен 87 %, а на покрытие потерь в двигателе и генераторе из сети потребляется не более 13 % активной мощности.

Выводы

1. Предложенная схема испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки с возбуждением генератора от сети дает возможность существенно экономить электроэнергию в процессе испытания.
2. Разработанная модель схемы испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки правильно описывает работу двигателей и позволяет исследовать их как в статическом, так и в динамическом режимах.
3. Схема взаимной нагрузки может быть применена не только для послеремонтных испытания АТЭД, но и для испытаний общепромышленных асинхронных машин большой мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербаков В.Г. Тяговые электродвигатели электровозов. – Новочеркасск: Агентство Наутилус, 1998. – 672 с.: ил.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.: ил.
3. Герман-Галкин С.Г., Карданов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: КОРОНА принт, 2003. – 256 с.: ил.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.: ил.
5. Находкин М.Д. Проектирование тяговых электрических машин. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.: ил.

УДК 621.313